

## EUROPEAN PATENT OFFICE

## Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 05048072  
 PUBLICATION DATE : 26-02-93

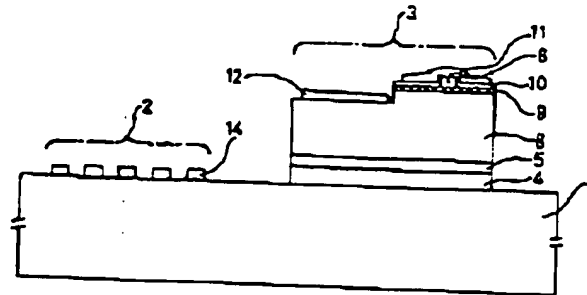
APPLICATION DATE : 12-08-91  
 APPLICATION NUMBER : 03201701

APPLICANT : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP  
 <NTT>;

INVENTOR : ITO YOSHIO;

INT.CL. : H01L 27/15 H01S 3/18

TITLE : SEMICONDUCTOR ELEMENT



**ABSTRACT :** PURPOSE: To improve quality and lengthen life by stacking a semiconductor substrate body consisting of Si, a semiconductor layer consisting of single crystal InP, and a semiconductor layer for buffer, with the semiconductor layer for buffer between.

CONSTITUTION: Si-CMOS 2 and a semiconductor laser 3 are integrated on an Si substrate 1. At this time, a semiconductor laser 3 is made on the InP layer 8 on the first buffer layer 4 consisting of GaAs and the second buffer layer 5 consisting of InGaAs. The active layer 9 of this semiconductor laser 3 consists of multiple quantum well, and a barrier layer consists of InGaAsP of 10nm, and a well layer InGaAs of 7.5nm. And the number of well layers is made six. The oscillated wavelength at this time is 1.54 $\mu$ m. Next, a ridge 6 $\mu$ m wide is formed by the selective etching by chemical etching. Furthermore, a mirror face is made by dry etching. It is made a laser 300 $\mu$ m in resonance length, using nitride silicon as an insulating film 10.

COPYRIGHT: (C)1993,JPO&Japio

## TRANSLATION FROM JAPANESE

- (19) JAPANESE PATENT OFFICE (JP)  
(12) Unexamined Patent Gazette (A)  
(11) Unexamined Patent Application (Kokai) No. 5-48072  
(43) Disclosure Date: February 26, 1993

---

	Class.	Internal Office		Technical
(51) <u>Int. Cl.</u> <sup>5</sup>	<u>Symbols</u>	<u>Registr. Nos.</u>	<u>F I</u>	<u>Classification Field</u>
H 01 L 27/15		8934-4M		
H 01 S 3/18		9170-4M		

Request for Examination: Not yet submitted      Number of Claims: 3

(Total of 4 pages [in original])

---

(21) Application No.: 3-201701

(22) Filing Date: August 12, 1991

(71) Applicant: 000004226 (Nippon Telegraph & Telephone Corporation; 1-6  
Uchisaiwai-cho 1-chome, Chiyoda-ku, Tokyo)

(72) Inventor: Mitsuru Sugo (c/o Nippon Telegraph & Telephone Corporation; 1-6 Uchisaiwai-cho 1-chome, Chiyoda-ku, Tokyo)

(72) Inventor: Hidefumi Mori (c/o Nippon Telegraph & Telephone Corporation; 1-6 Uchisaiwai-cho 1-chome, Chiyoda-ku, Tokyo)

(72) Inventor: Yoshio Ito (c/o Nippon Telegraph & Telephone Corporation; 1-6 Uchisaiwai-cho 1-chome, Chiyoda-ku, Tokyo)

(74) Agent: Junnosuke Nakamura, Patent Attorney

---

(54) [Title of the Invention] **Semiconductor Element**

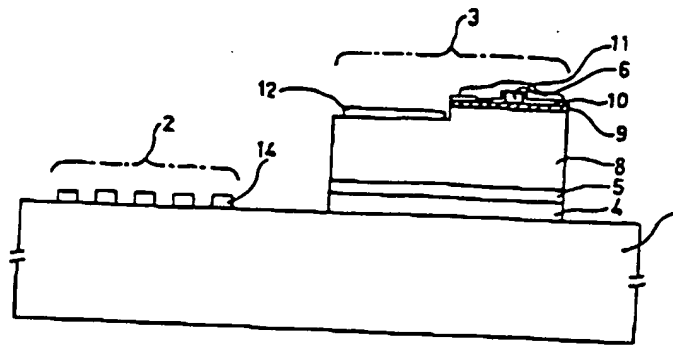
(57) [Summary]

[Object] To provide a durable semiconductor laser capable of stably operating for a long time as part of a semiconductor element comprising an Si electronic circuit, a semiconductor laser, and an optional photodetector.

[Composition] A semiconductor element, obtained by integrating the following components on an Si substrate: an electronic circuit composed of Si, a photodetector, and a semiconductor laser for generating long-wavelength light with a wavelength of 1.4  $\mu\text{m}$  or greater, with the latter two components being provided via at least one type of interlying single-crystal compound semiconductor layer (for example, a single-crystal InP semiconductor layer may be stacked via interposed GaAs and InGaAs buffer layers).

[Merits] Stacking elements via interposed buffer layers makes it possible to reduce the dislocation density and residual stress of the InP semiconductor layer, to set the generation wavelength of the laser to 1.4  $\mu\text{m}$  or greater, and to obtain a durable semiconductor laser.

Figure 1



- 1 Si substrate
- 2 Si-CMOS
- 3 semiconductor laser

- 4 first GaAs buffer layer
- 5 second InGaAs buffer layer
- 6 ridge
- 8 InP layer
- 9 active layer
- 10 insulating layer
- 11 p-electrode
- 12 n-electrode
- 14 electrode

[Claims]

[Claim 1] A semiconductor element, characterized in that an electronic circuit composed of Si and a semiconductor laser for generating long-wavelength light with a wavelength of 1.4  $\mu\text{m}$  or greater are integrated on a silicon (Si) substrate, with the second of the two components being provided via at least one type of interlying single-crystal compound semiconductor layer.

[Claim 2] A semiconductor element, characterized in that an electronic circuit composed of Si, a photodetector, and a semiconductor laser for generating long-wavelength light with a wavelength of 1.4  $\mu\text{m}$  or greater are integrated on a silicon (Si) substrate, with the latter two of the three components being provided via at least one type of interlying single-crystal compound semiconductor layer.

[Claim 3] A semiconductor element as defined in Claim 1 or 2, characterized in that a single-crystal compound semiconductor layer consisting of an InP layer is stacked as the single-crystal compound semiconductor layer overlaid on the silicon (Si) substrate via a first buffer layer composed of GaAs and a second buffer layer composed of InGaAs.

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Technological Field of the Invention] The present invention relates to a semiconductor element produced by integrating an Si electronic circuit and a semiconductor laser by making use of a semiconductor substrate obtained by stacking a single-crystal compound semiconductor layer on a semiconductor substrate body composed of Si, or to a semiconductor element produced by integrating an Si electronic circuit, a semiconductor laser, and a photodetector by making use of the aforementioned substrate.

[0002]

[Prior Art] In conventional practice, semiconductor elements are obtained by stacking semiconductor layers composed of Group III-V elements of the Periodic Table of the Elements on semiconductor substrate bodies composed of single-crystal Si. Techniques that allow optical elements to be obtained using Group III-V compound semiconductors and Si-LSI circuits to be fused with optoelectronic elements are considered to be important contemporary methods for fabricating semiconductor lasers used in element applications. GaAs materials are primarily used for manufacturing semiconductor lasers on Si substrates according to such known methods. These semiconductor lasers have a serious drawback, however. Namely, such lasers are short-lived because they deteriorate

after operating for only a few hours. This is apparently due to the presence of high-density dislocations and residual stress in the GaAs films on the Si substrates. For this reason, fused optoelectronic elements obtained by integrating Si electronic circuits and GaAs-based semiconductor lasers have yet to be implemented. By contrast, InP-based 1.3- $\mu\text{m}$  semiconductor lasers have been reported in *Appl. Phys. Lett.* (53 (1988), p. 2389) as products of a study in which materials other than GaAs were used for semiconductor lasers. A notable feature of these semiconductor lasers is that they are free from the precipitous deterioration normally observed in GaAs-based semiconductor lasers. It is known that the service life of a semiconductor laser depends not only on the material of the Si substrate but also on the material of the semiconductor laser itself. Even with the InP-based semiconductor lasers, the drive current increases, although not as precipitously, and the semiconductor elements deteriorate noticeably, preventing such lasers from reaching a practically acceptable level.

[0003]

[Problems Which the Invention Is Intended to Solve] An object of the present invention is to overcome the above-described shortcomings of the prior art and to provide a semiconductor laser capable of stably operating for a long time as part of a semiconductor element comprising an Si electronic circuit, a semiconductor laser, and an optional photodetector on a semiconductor substrate obtained by stacking single-crystal compound semiconductor layers on a semiconductor substrate body composed of single-crystal Si.

[0004]

[Means Used to Solve the Above-Mentioned Problems] In order to attain the object of the present invention, a semiconductor layer composed of single-crystal InP is formed on a semiconductor substrate body composed of Si, and an Si electronic circuit and a semiconductor laser (or an Si electronic circuit, a semiconductor laser, and a photodetector) are integrated to form a semiconductor element, during which time semiconductor layers used for buffering purposes are interposed between the semiconductor substrate composed of Si and the semiconductor layer composed of single-crystal InP to improve the quality of the semiconductor layer composed of single-crystal InP and to yield a durable semiconductor laser for generating long-wavelength light with a wavelength of 1.4  $\mu\text{m}$  or greater.

[0005]

[Working Examples] Working examples of the present invention will now be described in detail with reference to drawings.

(Working Example 1) Fig. 1 is a diagram depicting a possible structure of the semiconductor element fabricated according to the present working example. In the drawing, Si-CMOS 2 and a semiconductor laser 3 are stacked on an Si substrate 1. The semiconductor laser 3 is formed on an InP layer 8, which overlies a first buffer layer 4 composed of GaAs and a second buffer layer 5 composed of InGaAs. The active layer 9 of the semiconductor laser 3 consists of a multiple quantum well in which the barrier layers consist of 10-nm InGaAsP (wavelength: 1.3  $\mu\text{m}$ ) and the well layers consist of 7.5-nm InGaAs (wavelength: 1.65  $\mu\text{m}$ ). The guide layers consist of 100-nm InGaAsP (wavelength: 1.3  $\mu\text{m}$ ). The total number of well layers is 6. The corresponding oscillation



wavelength is 1.54  $\mu\text{m}$ . A ridge 6 with a width of 6  $\mu\text{m}$  is then formed by selective chemical etching. A mirror surface is then formed by dry etching. Silicon nitride is used as an insulating film 10 to produce a laser with a resonance length of 300  $\mu\text{m}$ . The resulting semiconductor laser is configured such that both the p- and n-electrodes 11 and 12 are disposed on the top. The semiconductor laser 3 formed on the Si substrate 1 oscillates at room temperature with a threshold of 55 mA. When the semiconductor laser 3 is operated at room temperature while delivering a constant output of 2 mW, no change in drive current or laser degradation is observed after 1500 hours or longer. Fast operation (1 GHz) can also be successfully performed with the aid of a semiconductor laser drive circuit composed of integrated Si-CMOS 2. It is apparent that the semiconductor laser of the present invention is not limited to the above-described working example and can have any ridge width or active layer as long as it is capable of generating wavelengths of 1.4  $\mu\text{m}$  or greater. The laser may also have an embedded structure.

[0006] (Working Example 2) Fig. 2 depicts a possible structure of the semiconductor element fabricated according to the present working example. As in Working Example 1, a photodetector 7 whose light-receiving layer 13 is composed of InGaAs is integrated on an Si substrate 1 obtained by integrating a semiconductor laser 3 and Si-CMOS 2.

However, the semiconductor laser 3 of the present working example has a DH structure with an InGaAs P bulk active layer 9 and an oscillation wavelength of 1.4  $\mu\text{m}$ . The semiconductor laser 3 oscillates at room temperature with a threshold of 57 mA. When the semiconductor laser 3 is operated at room temperature while delivering a constant output of 2 mW, no change in drive current or laser degradation is observed after

1200 hours or longer. Similar to the semiconductor laser 3, the integrated photodetector 7 is formed on an InP layer 8, which overlies a first GaAs buffer layer 4 and a second InGaAs buffer layer 5. The semiconductor element of the present working example allows the semiconductor laser to generate optical signals modulated by the light received by the photodetector 7.

[0007]

[Merits of the Invention] The semiconductor element of the present invention is obtained by stacking single-crystal InP semiconductor layers on an Si substrate that carries electronic circuits composed of Si, in which case the quality of the single-crystal InP semiconductor layers can be improved by stacking the single-crystal InP semiconductor layers via interposed semiconductor layers for buffering purposes. The term "quality improvement" refers to reducing the residual stress and dislocation density inside the semiconductor element. In addition, a durable semiconductor laser can be obtained by setting the oscillation frequency of the integrated semiconductor laser to 1.4  $\mu\text{m}$  or greater. This approach is effective for suppressing the growth of dark-line defects during the operation of the semiconductor laser and for extending the service life of the semiconductor laser. In addition, the long waveband of the semiconductor laser matches the low-loss waveband of optical fibers, and thus holds promise for optical transmission elements. The semiconductor laser thus configured can produce not only combined optoelectronic circuits by being fused with Si-LSI but also optical integrated circuits by being fused with quartz-based waveguides. Forming such integrated circuits will go

beyond miniaturizing conventional systems or providing them with better performance and is expected to become the key to the development of optical computers.

**[Brief Description of the Figures]**

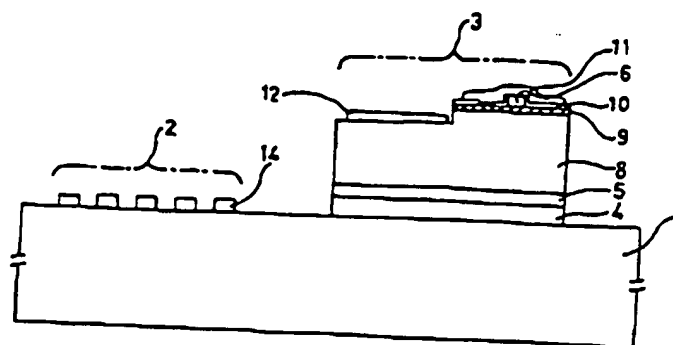
**[Figure 1]** A diagram depicting a possible structure of the semiconductor element pertaining to Working Example 1 of the present invention.

**[Figure 2]** A diagram depicting a possible structure of the semiconductor element pertaining to Working Example 2 of the present invention.


**[Key]**

1: Si substrate, 2: Si-CMOS, 3: semiconductor laser, 4: first GaAs buffer layer, 5: second InGaAs buffer layer, 6: ridge, 7: photodetector, 8: InP layer, 9: active layer, 10: insulating film, 11: p-electrode, 12: n-electrode, 13: light-receiving layer, 14 and 15: electrodes

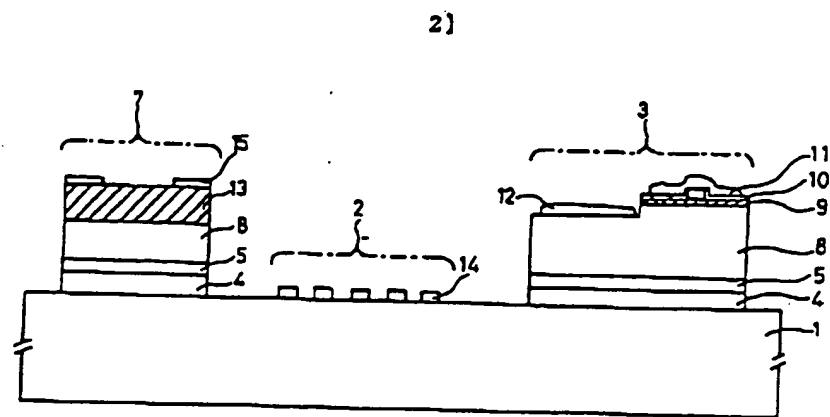
[Figure 1]



- 1 Si substrate
- 2 Si-CMOS
- 3 semiconductor laser
- 4 first GaAs buffer layer
- 5 second InGaAs buffer layer
- 6 ridge
- 8 InP layer

- 
- 9     active layer
  - 10    insulating layer
  - 11    p-electrode
  - 12    n-electrode
  - 14    electrode

[Figure 2]



- 1 Si substrate
- 2 Si-CMOS
- 3 semiconductor laser
- 4 first GaAs buffer layer

- 5 second InGaAs buffer layer
- 6 ridge
- 7 photodetector
- 8 InP layer
- 9 active layer
- 10 insulating layer
- 11 p-electrode
- 12 n-electrode
- 13 photodetector [sic]
- 14,15 electrodes

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平5-48072

(43) 公開日 平成 5 年 (1993) 2 月 26 日

(51) Int.Cl.<sup>5</sup>

H 0 1 L 27/15

H 0 1 S 3/18

識別記号

庁内整理番号

8934-4M

9170-4M

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 3 (全 4 頁)

(21) 出願番号 特願平3-201701

(22) 出願日 平成 3 年 (1991) 8 月 12 日

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区内幸町一丁目 1 番 6 号

(72) 発明者 須郷 満

東京都千代田区内幸町一丁目 1 番 6 号 日

本電信電話株式会社内

(72) 発明者 森 英史

東京都千代田区内幸町一丁目 1 番 6 号 日

本電信電話株式会社内

(72) 発明者 伊藤 義夫

東京都千代田区内幸町一丁目 1 番 6 号 日

本電信電話株式会社内

(74) 代理人 弁理士 中村 純之助

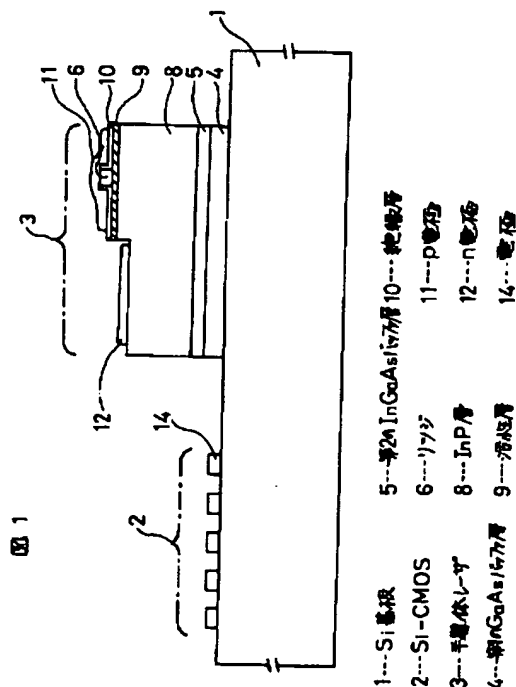
(54) 【発明の名称】 半導体素子

(57) 【要約】

【目的】 Si 電子回路と半導体レーザ、またはさらに受光器を設けた半導体素子において、長時間安定して動作する長寿命の半導体レーザを提供する。

【構成】 Si 基板上に、Si からなる電子回路と、少なくとも 1 種以上の単結晶化合物半導体層（例えば、GaAs および InGaAs のバッファ層を介して単結晶 InP 半導体層を積層する）を介して、波長が 1.4  $\mu\text{m}$  以上の長波長光を発振する半導体レーザおよび受光器を集積して構成した半導体素子。

【効果】 バッファ層を介して積層することにより InP 半導体層の転位密度および残留応力を低減することができ、レーザの発振波長を 1.4  $\mu\text{m}$  以上とすることができ長寿命の半導体レーザが得られる。





## 【特許請求の範囲】

【請求項1】シリコン（Si）基板上に、Siからなる電子回路と、少なくとも1種以上の単結晶化合物半導体層を介して、波長が $1.4\mu\text{m}$ 以上の長波長光を発振する半導体レーザを集積してなることを特徴とする半導体素子。

【請求項2】シリコン（Si）基板上に、Siからなる電子回路と、少なくとも1種以上の単結晶化合物半導体層を介して、波長が $1.4\mu\text{m}$ 以上の長波長光を発振する半導体レーザおよび受光器を集積してなることを特徴とする半導体素子。

【請求項3】請求項1または請求項2において、シリコン（Si）基板上に積層する単結晶化合物半導体層が、GaAsからなる第1のバッファ層と、InGaAsからなる第2のバッファ層を介して、InP層からなる単結晶化合物半導体層を積層して構成したことを特徴とする半導体素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、Siからなる半導体基板本体上に、単結晶化合物半導体層を積層して構成した半導体基板を用い、Si電子回路と半導体レーザを集積した半導体素子またはSi電子回路と半導体レーザおよび受光器を集積した半導体素子に関する。

## 【0002】

【従来の技術】従来、単結晶Siよりなる半導体基板本体上に、元素の周期表III-V族からなる化合物半導体層を積層して構成した半導体素子の提案がなされている。現在までに行われている素子応用のうちで半導体レーザの作製は、III-V族化合物半導体による光素子と、Si-LSiの光・電子融合を可能とする重要な技術である。これまでに検討されているSi基板上の半導体レーザの作製には、おもにGaAs材料が用いられていたが、これらの半導体レーザには致命的な欠点があった。それは、数時間の動作で劣化してしまい短寿命であることである。これは、Si基板上のGaAs膜内に存在する高密度の転位と残留応力に起因することが明らかにされている。このため、Si電子回路とGaAs系半導体レーザが集積された光・電子融合素子はいまだ実現されていない。これに対して、GaAs以外の材料系で半導体レーザへの応用が検討されているものとして、アブライドフイジックス レター、53巻（1988年）、第2389頁〔Appl. Phys. Lett., 53（1988）p.2389〕に記載されているInP系の $1.3\mu\text{m}$ 半導体レーザが挙げられる。この半導体レーザについて特筆すべき点は、GaAs系半導体レーザで見られるような急激な劣化がないことである。半導体レーザの寿命に対する材料依存性は、Si基板上に限らず、通常の半導体レーザにおいても言われていることである。しかし、このInP系半導体レーザにおいても急激ではないが、徐々に駆動

電流が増加して半導体素子の劣化が見られ、実用レベルからみると依然問題が存在していた。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は、上述した従来技術における問題点を解消するものであって、単結晶Siからなる半導体基板本体上に、単結晶化合物半導体層を積層して構成した半導体基板を用いて、Si電子回路と半導体レーザ、またはさらに受光器を集積して構成した半導体素子において、長時間安定して動作する半導体レーザを提供することにある。

## 【0004】

【課題を解決するための手段】上記本発明の目的を達成するために、Siからなる半導体基板本体上に、単結晶InPからなる半導体層を積層し、Si電子回路と半導体レーザ、またはSi電子回路と半導体レーザおよび受光器を集積して半導体素子を構成するに際し、Siからなる半導体基板本体と単結晶InPからなる半導体層との間に、バッファ用半導体層を介して積層することにより、単結晶InPからなる半導体層を高品質化して、波長が $1.4\mu\text{m}$ 以上の長波長光を発振する長寿命の半導体レーザを実現するものである。

## 【0005】

【実施例】以下に本発明の実施例を挙げ、図面を用いてさらに詳細に説明する。

（実施例1）図1は、本実施例において作製した半導体素子の構成の一例を示す模式図である。図において、Si基板1上に、Si-CMOS2と半導体レーザ3が集積されている。このとき、半導体レーザ3は、GaAsからなる第1のバッファ層4と、InGaAsからなる第2のバッファ層5の上のInP層8上に作製されている。この半導体レーザ3の活性層9は、多重量子井戸からなり、バリア層は $10\text{nm}$ のInGaAsP（波長 $1.3\mu\text{m}$ ）、ウエル層は $7.5\text{nm}$ のInGaAs（波長 $1.65\mu\text{m}$ ）からなる。なお、ガイド層も $100\text{nm}$ のInGaAsP（波長 $1.3\mu\text{m}$ ）からなっている。ウエル層の総数は6層とした。この時の発振波長は $1.54\mu\text{m}$ であった。次に、化学エッチングによる選択エッチングによって、 $6\mu\text{m}$ 幅のリッジ6を形成した。さらに、ドライエッチングによりミラー面を形成した。絶縁膜10として、窒化シリコンを用い、 $300\mu\text{m}$ 共振長のレーザとした。作製した半導体レーザはp、n両電極11、12が上方となるような構造とした。作製したSi基板1上の半導体レーザ3は、室温においてしきい値 $55\text{mA}$ で発振した。さらに、この半導体レーザ3は $2\text{mW}$ の一定出力による室温動作において、 $1500$ 時間以上、駆動電流が変化することなく、その劣化が見られなかった。さらに、集積したSi-CMOS2からなる半導体レーザ駆動回路により $1\text{GHz}$ の高速動作を問題なく行うことができた。言うまでもなく、本発明の半導体レーザは上記した実施例に限定されるものではなく、 $1.4\mu\text{m}$ 以

3

上の長波長を発振するものであれば、リッジ幅、活性層は種々の構造のものが作製でき、また埋め込み型の構造のものも作製可能である。

【0006】(実施例2)図2に、本実施例で作製した半導体素子の構成の一例を示す。実施例1と同様に、Si-CMOS2と半導体レーザ3の集積されているSi基板1上には、InGaAsを受光層13とする受光器7が集積されている。ただし、本実施例の半導体レーザ3はInGaAsPバルク活性層9を有するDH構造であり、発振波長は $1.4\mu\text{m}$ であった。この半導体レーザ3は、室温においてしきい値57mAで発振した。さらに、この半導体レーザ3は2mWの一定出力による室温動作において、1200時間以上、駆動電流が変化することなく、その劣化が見られなかった。集積された受光器7は、半導体レーザ3と同様に、第1のGaAsバッファ層4、第2のInGaAsバッファ層5上に形成したInP層8上に作製されている。本実施例の半導体素子によって、受光器7への入力光により変調された半導体レーザの発光信号が得られる半導体素子を実現することができた。

【0007】

【発明の効果】本発明の半導体素子は、Siからなる電子回路を搭載するSi基板の上に、単結晶InPの半導体層を積層して構成するが、この場合、バッファ用半導体層を介して単結晶InP半導体層を積層することにより、単結晶InP半導体層を高品質化することができる。高品質化とは、具体的には半導体素子内の転位密度の低減、残留応力の低減を意味する。さらに、集積された半導体レーザの発振波長を $1.4\mu\text{m}$ 以上とすることにより長寿命の半導体レーザを実現するものである。これにより、半導体レーザ動作時のダークライン欠陥の増殖を

4

抑制するのに有効であり、半導体レーザの長寿命化を実現することができる。さらに、上記の半導体レーザの長波長帯は、光ファイバの低損失の波長帯と一致しているため伝送用の光素子として有望である。また、上記構造の半導体レーザはSi-LSiとの融合による光・電子融合回路のみならず、石英系導波路との融合による光集積回路の実現を可能にする。これら集積回路の実現は、従来のシステムの小型化、高性能化の可能性に留まらず、将来の光交換、光コンピュータの実現に重要なキーデバイスになるものと期待される。

【図面の簡単な説明】

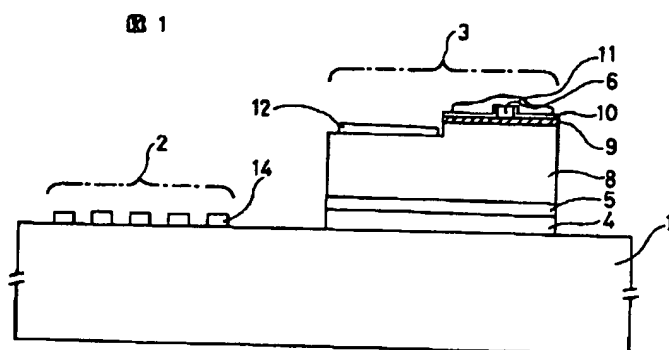
【図1】本発明の実施例1で例示した半導体素子の構成の一例を示す模式図。

【図2】本発明の実施例2で例示した半導体素子の構成の一例を示す模式図。

【符号の説明】

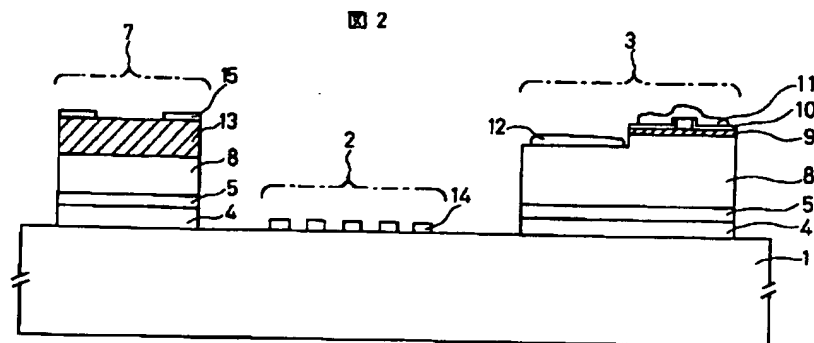
- 1…Si基板
- 2…Si-CMOS
- 3…半導体レーザ
- 4…第1のGaAsバッファ層
- 5…第2のInGaAsバッファ層
- 6…リッジ
- 7…受光器
- 8…InP層
- 9…活性層
- 10…絶縁層
- 11…p電極
- 12…n電極
- 13…受光層
- 14, 15…電極

【図1】



- |                             |                             |          |
|-----------------------------|-----------------------------|----------|
| 1---Si基板                    | 5---第2 $\text{InGaAs}$ バリア層 | 10---絶縁層 |
| 2---Si-CMOS                 | 6---リッジ                     | 11---p電極 |
| 3---半導体レイヤ                  | 8---InP層                    | 12---n電極 |
| 4---第1 $\text{InGaAs}$ バリア層 | 9---活性層                     | 14---電極  |

【図2】



- |                             |                             |          |            |
|-----------------------------|-----------------------------|----------|------------|
| 1---Si基板                    | 5---第2 $\text{InGaAs}$ バリア層 | 9---活性層  | 13---受光層   |
| 2---Si-CMOS                 | 6---リッジ                     | 10---絶縁層 | 14,15---電極 |
| 3---半導体レイヤ                  | 7---受光層                     | 11---p電極 |            |
| 4---第1 $\text{InGaAs}$ バリア層 | 8---InP層                    | 12---n電極 |            |

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER: \_\_\_\_\_**

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**